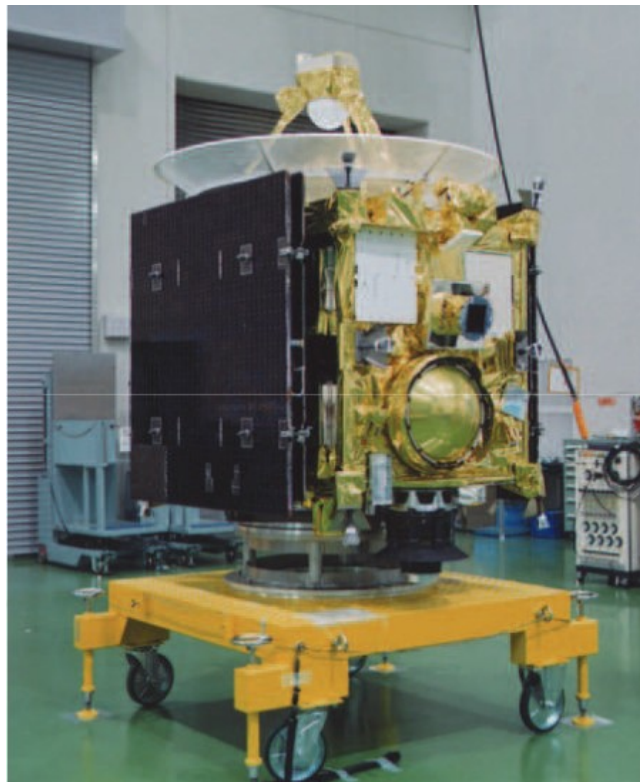


Panichi Léonard  
L3 physique  
Semestre 1  
2014-2015  
Enseignant : Hubert Halloin

Rapport Science et Systèmes spatiaux  
**Mission Hayabusa**



# Sommaire

Introduction.....	3
I La mission.....	3
Objectifs scientifiques.....	3
Objectifs techniques.....	4
II La sonde.....	4
Moteurs principaux.....	5
Ordinateurs de bord et traitement d'image.....	5
Instrumentation scientifique.....	6
Instrumentation technique.....	6
Rover.....	8
III Déroulement de la mission.....	8
Lancement.....	8
Direction Itokawa.....	8
L'approche du satellite.....	9
Le prélèvement.....	9
Le retour.....	10
IV Résultats, succès et échecs.....	11
Le bilan de l'observation scientifique.....	11
Le bilan de la JAXA.....	11
Difficultés rencontrées.....	12
Dates clés.....	13
Conclusion.....	13
Références.....	14

# Introduction

La sonde Hayabusa lancée le 9 mai 2003 et mise au point par la JAXA<sup>1</sup> est unique en son genre. Elle répond à un besoin du marché de la conquête spatiale : l'exploration à moindre coût. Contrairement à d'autres sondes qui sont de véritables laboratoires volants, comme Rosetta dont le coût aura été d'environ un milliard d'euro, Hayabusa transporte moins de matériel ce qui la rend moins onéreuse. Pour un prix dix fois moindre, elle s'avère être tout aussi intéressante du point de vue scientifique dans la mesure où elle a pour mission de ramener sur Terre des échantillons prélevés sur un petit astéroïde. Elle se place donc bien au niveau des projets spatiaux les plus ambitieux, mais avec l'avantage d'un certain réalisme.

En effet, il est très difficile de garantir la réussite des missions attribuées aux sondes modernes, elles accomplissent bien souvent de longs voyages et il est très difficile d'évaluer précisément les difficultés auxquelles elles seront confrontées, il n'est donc pas très raisonnable de miser des centaines de millions d'euros sur une missions dont la réussite est très incertaine. Au lancement d'Hayabusa par exemple, les ingénieurs ignoraient encore la taille, la forme et la texture de la surface de l'astéroïde sur lequel Hayabusa devrait effectuer un prélèvement. Ces inconnues ont conduit la JAXA à développer une intelligence artificielle extrêmement avancée capable de prendre les bonnes décisions face à toutes les situations, la moindre erreur pouvant entraîner l'échec de la mission. En effet, dans l'espace profond, là où les sondes terriennes seront de plus en plus amenées à opérer, le contrôle des missions depuis la Terre est extrêmement complexe en raison du délai entre l'émission d'une donnée et sa réception. Cette durée a pu atteindre jusqu'à quarante minutes pour la mission Hayabusa, ce à quoi s'ajoute le faible débit des communications et les éventuelles pertes de signal. Hayabusa a bénéficié pour remplir son cahier des charges, de technologies dont les capacités opérationnelles restaient à démontrer.

Le développement de sondes autonomes annonce la rencontre prédite par la science fiction, de la robotique et de la conquête spatiale, c'est donc dans l'ère de l'automatisation de l'exploration spatiale que s'ancre les récents travaux de l'agence spatiale japonaise. Ce rapport a pour objectif de donner un aperçu du travail accompli et de celui restant à faire dans ce domaine.

## I La mission

Les objectifs de la mission Hayabusa peuvent être regroupés en deux catégories. Le succès de la mission repose à la fois sur l'accomplissement d'objectifs scientifiques et techniques.

### *Objectifs scientifiques*

L'étude des petits astéroïdes est fondamentale pour la compréhension de la formation de notre

---

<sup>1</sup> Un certain nombre de documents portant sur la mission Hayabusa ont été publiés par l'ISAS. Afin de lever toute confusion, il faut mentionner que la JAXA (Japan Aerospace eXploration Agency) est le résultat de la fusion en 2003 de trois agences spatiales japonaises : l'ISAS, la NAL et la NASDA.

système solaire car leur faible température et la faible pression en leur centre laisse penser que leur composition chimique a très peu variée depuis leur création et donc depuis la création du système solaire. L'étude de la composition chimique d'Hayabusa et de sa structure doit nous renseigner sur la composition chimique de notre système à sa création et sur le mode de formation de ce type d'objets célestes.

La mission doit permettre d'en apprendre plus sur les petits astéroïdes, d'une taille caractéristique inférieure au kilomètre, et sur la relation entre astéroïdes et météors

## ***Objectifs techniques***

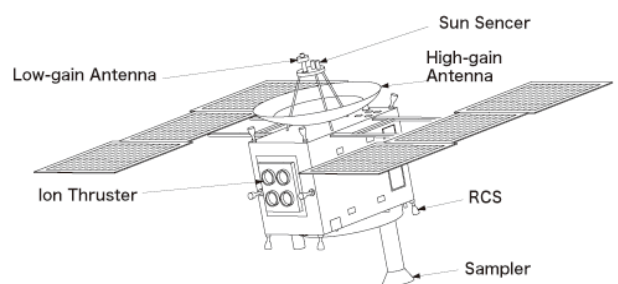
Pour remplir les objectifs scientifiques de la mission, la sonde a été dotée de technologies inédites. Cinq d'entre elles sont plus que les autres en démonstrations et ont vocation à dépasser le cadre de cette simple mission pour devenir des standards technologiques sur lesquelles pourraient se reposer les projets futurs.

1. L'utilisation de moteurs ioniques alimentés en énergie par des panneaux solaires et utilisés comme source de propulsions primaire.
2. La navigation autonome de la sonde à partir de données optiques.
3. L'automatisation du prélèvement d'échantillons sur le sol d'un astre en micro gravité.
4. Le retour direct sur Terre de la capsule contenant les échantillons depuis une orbite interplanétaire.
5. La combinaison de l'assistance gravitationnelle et de la propulsion ionique pour des voyages interstellaires.

## **II La sonde**

Hayabusa est une sonde de 510kg en incluant le carburant des divers moteurs, les dimensions du corps sont de 1,0\*1,6\*2 mètres et son envergure déployée est d'environ 5,7 mètres. L'énergie électrique est fournie par deux panneaux solaires multijonction composés d'arséniure de galium (GaAs) qui lui permettent de tirer profit d'un large spectre lumineux pour produire de l'énergie et par onze batteries au lithium. Les panneaux solaires ont une superficie totale de 12 m<sup>2</sup> et fournissent 2,6 Kw à 1U.A. de distance du soleil. Les batteries ont quant à elles chacune une capacité de 15Ah.

Enfin les communications sont assurées par une antenne à haut gain de 1,5 mètre de diamètre d'une puissance de 20W assistée par deux antennes à faible gain. Il est à noter que ces composants, antennes et panneaux solaires, sont fixes ce qui impose une contrainte importante sur l'orientation de la sonde, elle doit toujours être autant que possible dirigée à la fois vers la Terre et vers le Soleil,



mais cette solution simplifie aussi beaucoup la structure.

## Moteurs principaux

Hayabusa est équipée de quatre moteurs ioniques et d'un réservoir de 65 kg de Xénon pour leur fonctionnement, ce carburant est ionisé par induction haute fréquence. Ces moteurs, développés par le Japon, ont une impulsion spécifique de 3200 secondes, une poussée de 0,48 grammes et consomment 1kW. Ils ont l'avantage d'apporter une poussée continue à la sonde sur le long terme, mais cela rend le calcul de la trajectoire difficile, aussi des périodes ballistiques sont-elles organisées durant lesquelles les moteurs ioniques sont stopés. Ces périodes durent environ trois jours par mois.

Les moteurs de la sonde présentent par ailleurs une innovation rare. S'ils sont construits suivant la méthode usuelle, c'est à dire en trois parties : un générateurs de ions, un accélérateur qui permet de faire croître l'énergie cinétique des ions et un neutraliseur qui garde l'ensemble du moteur en équilibre électrostatique, les trois parties de chacun des quatre moteurs de Hayabusa peuvent être recombinaées les unes avec les autres pour pallier à d'éventuelles défaillances partielles. On note sur la figure, que le moteur A n'a jamais fonctionné.

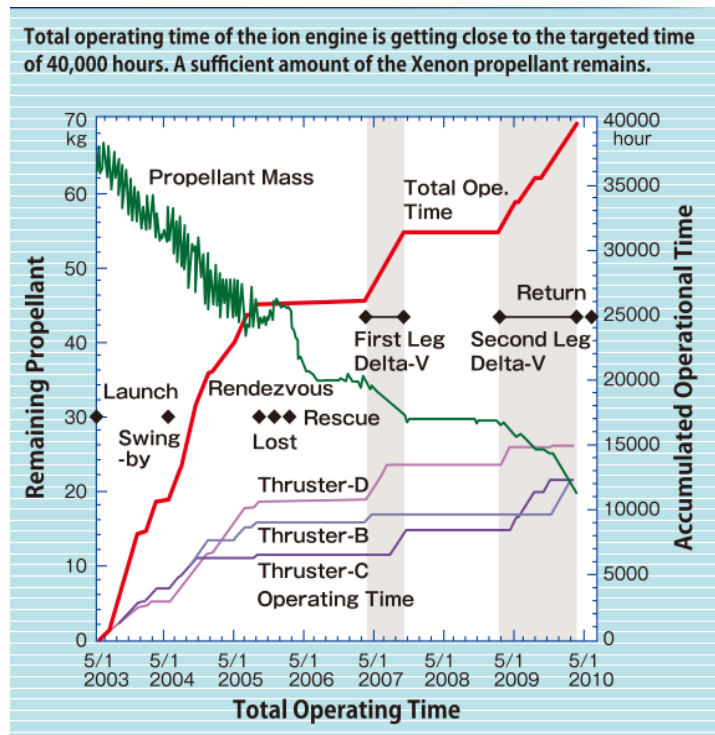
Les moteurs ioniques sur le voyage allé avaient déjà totallisé 25 800 heures de fonctionnement, et avaient permis à la sonde d'accroître sa vitesse de 1400 m/s pour une consommation de 22kg de carburant. En fin de voyage, la sonde avait accéléré de plus de 3,5 km/s et consommé 50kg de carburant.

## Ordinateurs de bord et traitement d'image

Hayabusa dispose de deux ordinateurs de bords principaux. Leur bon fonctionnement est la base de la réussite de la mission, il s'appuie sur différentes techniques d'imagerie qui servent à la navigation :

**WCT** : Whole image Center Tracking, l'ordinateur se base sur les groupes de pixel pour repérer le centre de l'astéroïde

**TMT** : Target Marker Tracking, le mécanisme est le même que pour le WCT mais les groupes de



pixels détectés sont plus petits et plus brillants. Ce traitement nécessite que le  $TM^2$  soit dans le champ de la caméra.

**FWT** : Fixed Window correlation Tracking, ce traitement est utilisé en l'absence de TM, des zones, des cratères par exemple, sont sélectionnées sur une image puis recherchées et suivies sur les images suivantes ce qui permet de déduire des indications quant à la vitesse latérale de la sonde.

**AWC** : Auto Window Tracking, le principe est le même que pour le FWT, mais l'algorithme diffère en complexité.

A partir de ces images deux ordinateurs contrôlent la navigation :

**NGC** : Navigation, Guidance and Control

**AOCU** : Attitude and Orbit Control Unit

## ***Instrumentation scientifique***

Trois instruments principaux servent à cartographier le satellite, à analyser sa géométrie et le rayonnement qu'il émet.

**AMICA** : spectroscopie multispectre, il utilise la caméra ONC-T.

**NIRS** : spectroscopie pour le proche infrarouge.

**XRS** : spectroscopie à rayon-X.

La sonde est équipée de deux types de caméra :

**ONC-T** (Optical Navigation Camera) : c'est une caméra télescopique (faible angle) utilisée pour la cartographie de l'astéroïde et de nombreuses observations scientifiques

## ***Instrumentation technique***

**ONC-W1** et **ONC-W2** (caméras à large angle) utilisées pour la navigation. Ces deux caméras couvrent deux axes d'un repère euclidien centré sur la sonde, l'une sert ainsi à la navigation interstellaire pendant que l'autre est utilisée pour l'atterrissage sur l'astéroïde.

Plusieurs instruments permettant de déterminer et de contrôler l'attitude de la sonde et ses variations de vitesse :

**TSAS** : Two axis Sun Aspect Sensor, permet de détecter la position du soleil dans le ciel.

**STT** : STar Tracker : permet de repérer les étoiles lointaines et donne ainsi des indications sur la trajectoire à suivre et sur l'attitude de la sonde.

**IRU** : Inertial Reference Unit : fournit un référentiel inertiel de référence.

**ACM** : ACceleroMeter, permet de mesurer les gains de vitesse provoqués par deux systèmes, le **RCS** et le **RW**.

---

<sup>2</sup> Cf. *infra*

**RCS** (Reaction Control System), la sonde est équipée de douze moteurs utilisant du peroxyde d'azote et de l'hydrazine qui lui permettent de contrôler sa trajectoire et son attitude. Leur impulsion spécifique est de 290s, soit une poussée de 22 Newton par tuyère.

**RW** (Reaction Wheel) : les trois roues de réaction permettent à la sonde de modifier son attitude sans consommer de carburant. Chaque roue est dotée d'un moteur et d'un frein permettant d'emmagasiner de l'énergie cinétique ou de la rendre à la sonde. Elles permettent un contrôle de l'attitude plus fin que le RCS, de plus une autre particularité technique qui mérite d'être mentionnée est la décharge des roues de réaction au moyen des moteurs ioniques.

Altimètres :

**LIDAR** (Light radio Detecting and Ranging) est un capteur qui permet de mesurer la distance à l'astéroïde de 50m à 50km.

**TM** (Target Marker), ancre optique utilisée pour mesurer la vitesse latérale de la sonde par rapport à l'astéroïde. Il est repéré au moyen des caméras ONC. Le TM est équipé de réflecteur optiques et la sonde est équipée d'une lampe flash (FLA) de longueur d'onde facilement détectable par les caméras. Les capacités d'amortissement du TM au moyen de microbilles d'aluminium, essentielles pour éviter un rebond, ont été testées au Japon dans la tour micro-G du MGLAB de Gifu.

**LRF** (Laser Ranger Finder) : cet équipement est utilisé à des altitudes plus basses, de 7m à 120m. Il fonctionne pour l'essentiel au moyen de quatre lasers (LRF-S1) inclinés de 30° par rapport à l'axe de descente. Un ordinateur appelé LRF-E (LRF Electronic) déduit de la différence de phase entre les quatre faisceaux émis et ceux reçus la vitesse transversale de la sonde. A cela s'ajoute un capteur optique (LRF-S2) permettant de détecter le contact entre la corne de prélèvement d'échantillons (présentée dans la partie mission) et le sol de l'astéroïde. Les modules S1 et S2 ne peuvent pas fonctionner en même temps.

**FBS** (Fan Beam Sensor) : ces détecteurs servent dans les derniers mètres de la descente et permettent de détecter d'éventuelles obstacles susceptibles de mettre en danger la sonde, en particulier ses panneaux solaires. Ils détectent les obstacles d'une taille caractéristique supérieure à 10cm, ils sont au nombre de quatre et permettent une détection en trois dimensions sous la sonde couvrant une surface égale à presque la moitié de celle des panneaux solaires.

L'ensemble de ce fonctionnement est résumé dans le schéma suivant :

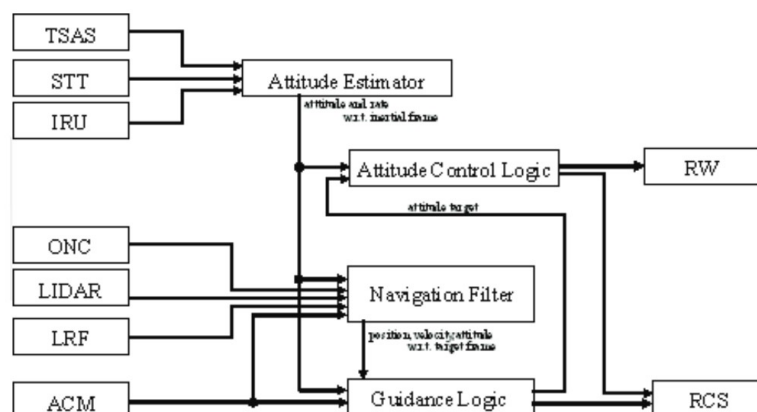


Figure 4. Block Diagram of AOCS/GNC System

## Rover

Un petit rover est intégré à Hayabusa nommé MINERVA (Micro / Nano Experimental Robot Vehicle for Asteroid). Il est supposé être largé par Hayabusa au moment d'un prélèvement de matière sur l'astéroïde et s'y déplacer ensuite de façon autonome, puis transmettre les données recueillies à la Terre par le biais d'Hayabusa. C'est le premier rover pour astéroïde au monde, il doit démontrer la viabilité d'une technologie permettant à un rover de se déplacer en micro-gravité, ce qui interdit l'usage de roues en raison de la faible force de friction au sol, et prouver également qu'il est possible pour un rover d'explorer un astre de façon autonome. Au regard de ces objectifs il ne



dispose que de peu de capteurs scientifiques, seulement trois caméras, six thermomètres et six capteurs de luminosité. MINERVA se déplace au moyen d'une roue interne qui est accélérée puis brutalement freinée, ce qui provoque un saut du rover dont la distance peut être grossièrement contrôlée par la vitesse de la roue en rotation. Sa vitesse maximum est de 9cm/s. Il a été testé dans une tour permettant de simuler la micro gravité. Il mesure 12cm de diamètre pour une hauteur de 10cm et un poids de 591g. Il est recouvert de panneaux solaires qui assurent son alimentation en énergie, ces derniers sont protégés par des pointes sortantes.

Il doit permettre de mesurer directement la température sur l'astéroïde, de faire une série d'images de sa surface dans les longueurs d'ondes visibles, de faire des relevés réguliers de la température de l'astéroïde à un endroit précis afin d'établir un historique des variations thermiques de la surface et de comprendre ses propriétés thermiques ou encore d'estimer le champ de gravité local et le coefficient de friction de la surface.

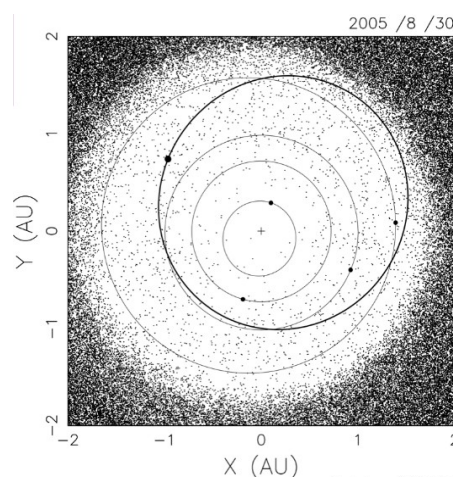
## III Déroulement de la mission

### Lancement

Le lancement a été effectué par un lanceur japonais M-V, cinquième génération des lanceurs japonais Mu. Le choix de ce lanceur est sans doute avant tout politique, il est question ici de démontrer le savoir faire du Japon après l'échec du lancement de ASTRO-E le 10 février 2000. Par ailleurs, le lanceur de cinquième génération a vocation à être remplacé par un lanceur moins coûteux ce qui encourage à penser que le choix du M-V n'est pas un choix guidé par le sens pratique.

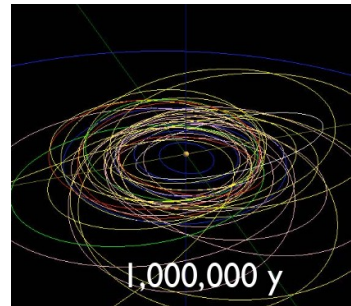
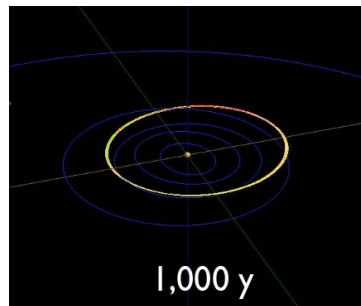
### Direction Itokawa

La cible de la mission est un astéroïde orbitant non loin de la Terre nommé 1998SF36 et renommé Itokawa pour l'occasion en l'honneur du professeur Hideo Itokawa, père de la fuséologie japonaise moderne. Ce corps stellaire a été





découvert le 26 septembre 1998 par LINEAR (Lincoln Near Earth Asteroid Research), un programme du laboratoire Lincoln du MIT en collaboration avec la NASA et l'US Air Force. Actuellement son orbite croise celles de la Terre et de Mars, mais elle a sur le long terme une tendance clairement chaotique comme le montrent les deux photos suivantes. Itokawa est un astéroïde issu de la couronne intérieure de la ceinture d'astéroïde et est voué dans l'avenir à percuter le soleil ou un autre corps celeste (les images montrent une simulation de sa trajectoire sur 1000ans et sur 1 000 000 d'années). Sa gravité est très faible, 100 000 fois moindre que celle de la Terre, ce qui en rend l'approche particulièrement difficile, il est impossible d'utiliser la gravité pour s'orienter comme le ferait n'importe quel pendule.



## ***L'approche du satellite***

Une fois Hayabusa situé à une distance de 20 km d'Itokawa, on considère que la sonde est arrivée à destination, elle va alors se rapprocher petit à petit jusqu'à la « home position » située à 7 km de l'astéroïde et qui sert de position de référence et de zone de repli en cas de problème lors de la descente pour un prélèvement. Depuis la « home position », Itokawa est inspectée en détail et les sites d'atterrissage potentiel sont sélectionnés.

## ***Le prélèvement***

Le prélèvement se déroule en quatre phases :

### 1) La phase de descente

Durant cette phase, la sonde utilise son tracker optique pour viser le centre de l'astéroïde et ne contrôle que sa vitesse verticale. Des informations sur la vitesse transversale peuvent néanmoins être extraites en repérant des cratères ou d'autres détails à la surface de l'astéroïde.

A 500 mètre un processus de Go/noGo est déclenché, la sonde décide d'elle-même si elle poursuit la descente.

### 2) La phase de descente finale

Pendant la phase de descente finale, la vitesse de la sonde est de 0.1m/s. Lorsque son altitude est de 100 mètres, la sonde doit avoir reçu une instruction de la Terre confirmant sa descente, sans quoi l'approche est annulée. C'est le seul moment où le centre de commandé situé sur Terre intervient. Arrivée à 40 mètres de l'astéroïde, Hayabusa relâche le TM et se positionne à sa verticale, elle se synchronise alors définitivement avec la rotation de Itokawa et ralentit encore sa vitesse de descente, elle est maintenant en chute libre avec une vitesse d'environ 0.06 m/s. Elle contrôle alors

son altitude au moyen du capteur LRF plutôt que du LIDAR. Arrivée à 17 mètres, elle attend que le TM touche le sol et se stabilise.

### 3) La phase de touchdown

Les FBS s'assurent que la descente est exécutée en toute sécurité pendant que les LRF-S2, ACM et IRU sont prêts à détecter le choc entre la sonde et le sol. Dès que le choc est détecté, le prélèvement est réalisé et la sonde s'éloigne aussitôt de l'astéroïde. Ce mode opératoire lui vaut son nom de « faucon ». Sa vitesse est de 0.04m/s pour ces derniers décimètres

### 4) La collecte d'échantillon

Le champ gravitationnel à la surface du satellite est trop faible pour que la sonde puisse s'y poser et creuser, l'astéroïde n'est par ailleurs pas une roche mais un amas de caillou de tailles variables, ils est donc impossible de s'y ancrer. La solution choisie consiste à tirer un projectile sur la surface de l'astéroïde de façon à soulever des éclats de minéraux et à les récolter dans un cornet placé au dessus de la zone d'impact. Le projectile est éjecté à 300m/s, et l'opération doit être suffisamment précise pour que les fragments de minéraux arrachés à l'astéroïde ne heurtent pas la sonde, pour cela un mat extensible est utilisé.

On peut voir sur la photo des ingénieurs travaillant sur le cornet de collecte d'échantillon.



## *Le retour*

Divers incidents ont rendu le retour d'Hayabusa incertain, à son départ de l'astéroïde la sonde est très endommagée. Elle a perdu le carburant lui permettant d'utiliser ses propulsions ergoliques et deux roues de réaction. La sonde a finalement regagné la Terre le 13 juin 2010 et s'est désintégrée dans l'atmosphère, la photo suivante est la dernière prise de la sonde.

Les échantillons, quant à eux, ont été largués à 200 000 km de la Terre. Ils sont protégés à l'intérieur d'une capsule de 40 cm de diamètre et de 20 cm de hauteur pour une masse d'environ 17kg. La capsule est munie d'un bouclier thermique en fibre de carbone et résine phénolique qui se sépare de la capsule à 10 km d'altitude, d'un parachute et d'un émetteur rendant possible sa localisation par GPS, elle a atterri en Australie comme prévu. Dès sa récupération, une procédure



complexe a été mise en œuvre afin de protéger la capsule de toute contamination.

## IV Résultats, succès et échecs

### *Le bilan de l'observation scientifique*

Les spectroscopes d'Hayabusa observent la lumière du soleil réfléchi par la surface de l'astéroïde. Le spectroscope à infra-rouge, dont les résultats d'analyse sont présentés ci-dessous sous la forme d'un graphique, a permis de déterminer la composition de l'astéroïde : il s'agit pour l'essentiel de chondrite, ce sont les mêmes roches qui forment les météorites. Par ailleurs la masse de l'astéroïde a pu être estimée grâce à des descentes en chute libre et son volume par une observation en trois dimensions minutieuse. Connaissant la masse volumique habituelle des chondrite ( $3,2 \text{ g/cm}^3$ ) et en calculant la masse volumique de l'astéroïde, sa porosité a également pu être déterminée.

Masse de l'astéroïde :  $3,510 \pm 0,105 * 10^{10} \text{ kg}$

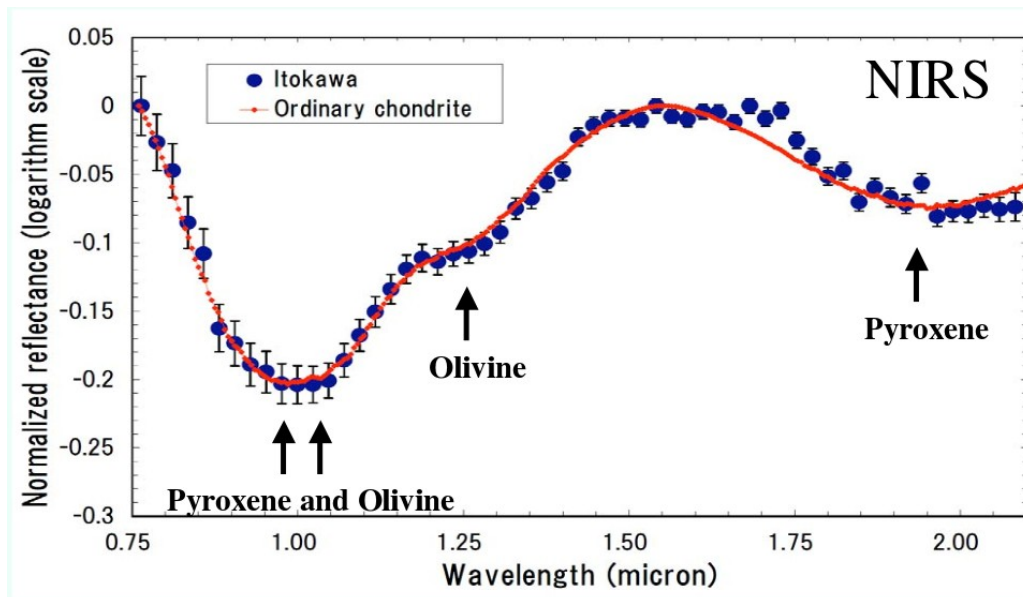
Dimensions de l'astéroïde  $535*294*209 \pm 1 \text{ m}$

Volume de l'astéroïde :  $1,84 \pm 0.092*10^7 \text{ m}^3$

Densité :  $1,90 \pm 0.13 \text{ g/cm}^3$  et porosité : 40%

Période rotationnelle : 12,1324 heures

L'astéroïde s'est révélé être un amas de gravas, probablement formé à partir de l'impact de deux corps solides, c'est un astéroïde de type S, et composé d'une multitude de météorites.



### *Le bilan de la JAXA*

La sonde a réussi à rapporter environ 1500 grains de poussières d'une taille de quelques micromètres, sa mission est donc accomplie. L'agence spatiale japonaise a mis au point un tableau

d'objectifs, chacun rapportant un certain nombre de points, que nous reproduisons ici.

Moteurs ioniques fonctionnels (pour la première fois trois moteurs ioniques fonctionneront en même temps)	50 points
Faire fonctionner un moteur ionique plus de 1000 heures	100 points
Utilisation de l'assistance gravitationnelle combinée à la propulsion ionique	150 points
Navigation autonome et rendez-vous avec Itokawa réussi	200 points
Observation scientifique de Itokawa	250 points
Collecte d'échantillons	300 points
Retour de la capsule contenant les échantillons	400 points
Disposer d'échantillons à analyser	500 points

L'ensemble des objectifs posés par l'agence a été rempli, soit un score de 1950 points, en ce sens la mission Hayabusa est un succès, mais un certain nombre de difficultés peuvent nuancer ce bilan.

## ***Difficultés rencontrées***

D'abord de nombreux dysfonctionnements de technologies pourtant en théorie maîtrisées ont rendu la mission ardue, en particulier les défaillances en série des roues de réaction. Pour pallier à ces problèmes, il est prévu que Hayabusa II qui doit succéder à Hayabusa emporte avec elle quatre roues à réaction au lieu de trois.

L'astéroïde se révèle être très accidenté, ce qui n'avait pas été suffisamment prévu et a rendu la tâche particulièrement difficile à l'intelligence embarquée. En effet, un seul endroit s'est trouvé être propice à un prélèvement : la Muses-sea. Selon la JAXA les difficultés rencontrées par l'ordinateur pour analyser les images récoltées seraient à l'origine du crash sur l'astéroïde qui a eu lieu le 20 novembre 2005.

Le rover MINERVA a été perdu en raison d'un problème de coordination entre le centre de commandement sur Terre et l'intelligence artificielle de Hayabusa. La Terre a en effet envoyé l'ordre à Hayabusa de larguer son rover lorsqu'elle a vu que la descente se déroulait comme prévu, mais pendant le laps de temps nécessaire à l'arrivée du l'ordre de largage, Hayabusa avait déjà commencé sa remontée vers la *home position*. Elle a cependant exécuté l'ordre de largage du rover. Ce genre d'erreur a peu de chance de se reproduire.

Le système de prélèvement a rencontré quelques défaillances, en particulier au niveau du canon à projectile qui n'a pas fonctionné. Le système de prélèvement a été modifié pour la sonde Hayabusa II.

## Dates clés

Nous reproduisons ici un calendrier de la mission en y incluant les diverses difficultés rencontrées.

### 2003

**9 mai** : lancement

27 mai : démarrage des moteurs ioniques

25 juin : la sonde est à pleine puissance

Fin 2003 : une tempête solaire endommage les panneaux photovoltaïques de Hayabusa réduisant la puissance disponible, ce genre d'événements est imprévisible.

### 2004

**19 mai** : la sonde passe proche de la Terre et l'utilise comme catapulte gravitationnelle.

### 2005

**31 juillet** : disfonctionnement d'une des roues de réaction.

14 août : le STT réalise sa première image de l'astéroïde.

**12 septembre** : arrivée sur Itokawa, les moteurs ioniques sont éteints, la sonde est à 20km de l'astéroïde.

**2 octobre** : défaillance d'une seconde roue de réaction. Le nombre de prélèvements possible passe de trois à deux.

**7 octobre** : la sonde atteint la « home position », à 7 km de l'astéroïde. Elle prépare les deux répétitions de l'atterrissage. Estimation de la gravité de Itokawa, observations intensives de la surface, rotations autour de l'astéroïde.

3 novembre : la sonde stationne à 3 km d'Itokawa.

4 novembre : première répétition d'une descente vers l'astéroïde, le système de Go/noGo annule l'opération suite à la détection d'anomalies.

9 novembre : largage du TM afin de tester les instruments servant à la phase finale de descente.

12 novembre : seconde répétition d'une opération de prélèvement, le rover MINERVA est largué et perdu mais la répétition se déroule comme prévu.

**20 novembre** : première tentative d'atterrissage, erreur dans le calcul d'attitude, Hayabusa se crashe sur l'astéroïde et y reste 34 minutes avant que la procédure d'éloignement ne soit déclenchée depuis la Terre.

**26 novembre** : seconde tentative de prélèvement, contrôlé depuis la Terre, le prélèvement échoue en raison d'un problème dans le déclenchement du projectile.

8 décembre : perte de contact due à une fuite de carburant sans doute résultant du crash.

Départ de l'astéroïde en décembre 2005

### 2006

23 janvier 2006 reprise du contact, mise au point d'une trajectoire de retour.

**25 avril** : la JAXA annonce que le voyage retour a commencé.

19 novembre : suite à l'arrêt d'un des deux moteurs restant en raison de dégradation, les moteurs ont été réorganisés de façon à fournir suffisamment de poussée à la sonde pour qu'elle puisse achever son voyage.

### 2010

**13 juin** : la sonde pénètre dans l'atmosphère terrestre.

## Conclusion

Hayabusa, malgré un certain nombre de difficultés a ouvert une nouvelle voie pour l'exploration

spatiale. Nul ne doute que bientôt les agences spatiales convergeront vers des solutions basées sur son modèle, plus autonomes, plus économiques, plus sûres. La Japon a quant à lui déjà planifié la suite de l'aventure des sondes Hayabusa.

La sonde Hayabusa II (photo à droite) a été lancée le 3 décembre 2014 avec succès, elle tire partie des problèmes rencontrés par sa grande sœur. Ce genre de sondes pourrait un jour devenir le standard de l'exploration spatiale, si leur fiabilité et leur autonomie rend intéressante leur production en série.

A l'avenir, des engins plus volumineux pourraient être mis au point capables de transporter des rovers ou de se poser elles-mêmes sur des planètes de plus en plus lointaines.



## Références

Les références sont classées par ordre d'utilisation. Le rapport se base essentiellement sur les trois premières.

1. Takashi Kubota, Tatsuaki Hashimoto and Jun'ichiro Kawaguchi (2008). Motion Planning of Intelligent Explorer for Asteroid Exploration Mission, Motion Planning, Xing-Jian Jing. Disponible sur <http://cdn.intechopen.com/pdfs-wm/5362.pdf>
2. Synthèse de la mission par une équipe de la JAXA disponible sur [http://www.astronomia.edu.uy/cospar2007/material/6%20-%20Makoto%20Yoshikawa%20-%20Asteroid%20Itokawa/Uru2007\\_haya\\_yoshikawa.pdf](http://www.astronomia.edu.uy/cospar2007/material/6%20-%20Makoto%20Yoshikawa%20-%20Asteroid%20Itokawa/Uru2007_haya_yoshikawa.pdf)
3. SCIENTIFIC CAPABILITY OF MINERVA ROVER IN HAYABUSA ASTEROID MISSION. T. Yoshimitsu, Institute of Space and Astronautical Science (ISAS), Sagamihara, Kanagawa 229-8510, Japan, The University of Tokyo, disponible sur : <http://www.lpi.usra.edu/meetings/lpsc2004/pdf/1517.pdf>
4. Site de la JAXA : <http://global.jaxa.jp/>
5. Site de l'ISAS : <http://www.isas.jaxa.jp/e/forefront/index.shtml>
6. Site de la NASA : <http://neo.jpl.nasa.gov/missions/musesc.html>
7. Archives scientifiques de la mission Hayabusa : <http://darts.isas.jaxa.jp/planet/project/hayabusa/index.html>